

Politechnika Opolska

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Romana Krocza
**'Metodologia projektowania, zagadnienia konstrukcyjne, modelowanie
oraz badania wyrzutni elektromagnetycznej o napędzie hybrydowym'**

Przedstawiona do recenzji praca doktorska została wykonana pod kierownictwem naukowym Prof. Krzysztofa Kluszczyńskiego w Katedrze Mechatroniki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej. Jest to druga rozprawa dotycząca tej wyrzutni i dotyczy tego samego urządzenia, które było podstawą badań przedstawionych w rozprawie dr inż. Jarosława Domina: **'Sprzężony model polowo-obwodowy wyrzutni elektromagnetycznej'**, obronionej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w 2012 roku. Jednak jest to praca autonomiczna, o odmiennym charakterze od wymienionej powyżej, mająca odrębną tezę wskazującą na konstrukcyjny charakter pracy z istotnym wątkiem metrologicznym. Zarówno temat jak i teza pracy są uzasadnione, ponieważ wyrzutnie elektromagnetyczne trójstopniowe, ze wstępnym stopniem pneumatycznym nie są typowymi obiektami technicznymi, dla których istnieje wypracowana metoda konstrukcyjna. O odrębności tej pracy i zasadności badań w tym zakresie wypowiadam się jako recenzent obu tych rozpraw i w pełni uznaję potencjał badawczy i potrzebę naukowego uogólnienia rozważań, które stanowią podstawę budowy wyrzutni.

Inną sprawą jest moje wrażenie dotyczące sformułowania tezy pracy, które wydaje mi się ogólnikowe a teza zawsze prawdziwa. Wolałbym tezę bardziej radykalną, która na przykład głosi, że mając określony budżet i masę pocisku da się osiągnąć pewną prędkość wylotową pocisku, gdy zastosuję się wyrzutnię hybrydową zbudowaną według metodologii przedstawionej w pracy. I dalej jaka ma być ta wyrzutnia i dlaczego.

Struktura rozprawy jest logiczna i konsekwentnie prezentuje konstrukcję i właściwości poszczególnych segmentów wyrzutni i węzłów pomiędzy nimi w kolejności takiej jak postępuje rozpędzany pocisk; autor wprowadza pojęcie głównych i pomocniczych zmiennych konstrukcyjnych i nie jest niespodzianką, że głównymi zmiennymi są długości poszczególnych segmentów wyrzutni, a więc wymiary odpowiadające drodze przyspieszania elementu ruchomego. Natomiast brak mi na tym etapie dyskusji na temat ograniczeń konstrukcji, a więc pewnych warunków brzegowych szukanego rozwiązania. W szczególności, na przykład dlaczego pierwsze przyspieszenie jest uzyskiwane w segmencie pneumatycznym a nie na przykład za pomocą sprężyny. Dalej dlaczego część elektromagnetyczna jest podzielona na segment 'cewkowy' i 'szynowy', a nie stosuje się jednego z nich tylko – bardziej efektywnego i który z nich takim jest? . Dobrze rozumiem względy dydaktyczne i badawcze,

to znaczy że warto mieć oba te rodzaje segmentów przyspieszających ale, który z nich jest lepszy, przy pewnych ograniczeniach?

Poszczególne segmenty wyrzutni są przedstawione i analizowane w systematyczny i w pełni naukowy sposób dlatego pod względem metodologicznym należy uznać opracowaną metodę konstrukcyjną za odpowiadającą wymaganiom rozprawy doktorskiej. Nie znaczy to jednak, że praca i przedstawione rozwiązania nie powodują uwag, czy też pytań kierowanych do autora.

Odnosnie segmentu pneumatycznego wyrzutni należy pozytywnie ocenić przeprowadzone porównanie dwóch sposobów opisu rozprężenia gazu: przemianę adiabatyczną metodą techniczną wg L. Kamińskiego. Natomiast błędem jest zastosowanie w opisie przebiegu ciśnienia funkcji Diraca (4.1), co widać bezpośrednio z porównania ze wzorem (4.11).

Ponadto nasuwa się pytanie dlaczego długość cylindra l^P jest taka mała, kiedy jak wynika z rys. 4.16b spadek ciśnienia podczas ruchu pocisku w cylindrze jest niewielki, bez względu na początkową wartość ciśnienia. Przy dłuższym cylindrze można by znacznie bardziej rozpędzić pocisk bez zmiany zbiornika z gazem, czy też początkowego ciśnienia. Skąd też wzięło się ograniczenie prędkości v_k^P do 30 m/s. Wydaje się, że z pierwszego segmentu wyrzutni można by 'osiągnąć' znacznie więcej przy niewielkich zmianach konstrukcji.

Kolejnym segmentem wyrzutni analizowanym pod względem optymalizacji konstrukcji jest napęd cewkowy, działającym na zasadzie oddziaływania pola na ferromagnetyk.

Opracowano skuteczny i wystarczająco dokładny model matematyczny i przedstawiono wyczerpującą analizę wersji konstrukcji. W szczególności dokonano doboru optymalnych wymiarów cewki ze względu na maksymalny przyrost energii kinetycznej elementu ruchomego. Takie podejście jest właściwe, gdyż pozwala na łatwe uwzględnianie prędkości początkowej z jaką pocisk opuszcza segment z napędem gazowym.

Pytania z mojej strony, jakie się nasuwają w związku z projektowaniem tej części wyrzutni, to sprawa liczby iteracji potrzebna do określenia gęstości prądu w uzwojeniu i może ważniejsze pytanie dotyczące wykorzystania długości cewki do przyspieszania elementu ruchomego w związku z przebiegiem prądu rozładowania kondensatorów. Brakuje tu trochę trajektorii prąd – położenie pocisku wewnątrz cewki, aby ocenić jak ten układ pracuje. Ze względu na duże trudności pomiarowe położenia elementu ruchomego rozwiązanie na podstawie modelu było by interesujące.

Trzeci segment wyrzutni to moduł z szynami przewodzącymi, a pocisk zamyka obwód elektryczny przepływu prądu. Powstająca siła przemieszcza pocisk tak, aby zmniejszyć energię pola magnetycznego sprzężonego z obwodem, czyli wyrzuca pocisk na zewnątrz, nadając mu przyspieszenie. Projektowanie tego segmentu wyrzutni oparto na modelu matematycznym tego układu, a podstawą do podjęcia decyzji konstrukcyjnych są charakterystyki przyrostu energii pocisku na długości tego segmentu dla różnych napięć początkowych kondensatorów zasilających układ. Jest to postępowanie podobne do zastosowanego przy projektowaniu poprzedniego segmentu wyrzutni i pozwala na dobór

długości szyn przewodzących, biorąc pod uwagę prędkość początkową pocisku na początku tego segmentu. Metoda ta jest dobra i skuteczna, uzależniona jednak od dokładności rezultatów modelowania tego układu. Stąd też zastosowanie obliczeń połowych jest tu w pełni uzasadnione, a nawet wymagane. Projektowanie tego modułu jest zadaniem trudnym i wymagającym, ponieważ poruszający się pocisk stanowi element ruchomy obwodu elektrycznego, a więc musi być odpowiednio dokładnie prowadzony by nie powodować powstawania łuku elektrycznego, a z drugiej strony nie hamować ruchu przez zbytne tarcie o szyny. Z tego zadania autor pracy wywiązał się bardzo dobrze i również dobrze to opisał. Co do prezentacji metody w tekście pracy mam jednak następujące pytanie: dlaczego wartości przyrostu energii kinetycznej ΔE^s przedstawiona dwóch rysunkach rys. 6.9 oraz rys. 6.14 są zupełnie inne, pomimo że dotyczą tego samego przypadku?. Czy nastąpiła jakaś zmiana parametrów?. Także przebieg prądu rozładowania kondensatorów w układzie jest przedstawiony na samym końcu (rys. 6.17), podczas gdy jego rezultat w postaci siły elektrodynamicznej na samym początku opracowania na rys. 6.6. Może to wynika ze sposobu prezentacji metodologii projektowania ale powinny być odpowiednie objaśnienia i odesłania.

Praca zawiera także dwa istotne rozdziały dotyczące pomiarów prędkości pocisku w trakcie jego ruchu wewnątrz wyrzutni oraz pomiaru prędkości po opuszczeniu wyrzutni i przebyciu pewnej niewielkiej drogi. Generalnie jest to trudne zagadnienie, ponieważ dotyczy pomiaru wielkości nieelektrycznej jaką jest szybko zmieniająca się prędkość na krótkim odcinku drogi, w warunkach utrudnionego dostępu do elementu ruchomego. Wybrano metodę zastosowania barier optycznych usytuowanych na drodze ruchu pocisku i wyznaczania prędkości poprzez określanie różnicy czasu przy pokonywaniu przez pocisk krótkiego odcinka odległości pomiędzy parą barier. Metoda dobra ale jej jakość w konkretnym przypadku można ocenić dopiero po analizie błędu pomiaru, czego tutaj właściwie nie dokonano, ograniczając się do werbalnej analizy wpływu poszczególnych elementów układu na dokładność pomiaru prędkości.

Natomiast po opuszczeniu przez pocisk wyrzutni, hamowania i wyznaczania prędkości przy zderzeniu z przeszkodą dokonywano przy zastosowaniu wahadła balistycznego i pomiaru jego wychylenia po zderzeniu. Metoda dobra, zakładająca w realistyczny sposób zderzenie całkowicie niesprężyste. Model obliczeniowy i analizę dla tego układu dynamicznego wykonano starannie biorąc pod uwagę odchylenie toru pocisku od linii poziomej i zboczenie z osi otworu wyrzutni. Jednak nie do uniknięcia są tutaj błędy związane z przemianami cieplnymi związanymi z odkształceniami pocisku i tarczy.

Oceniając walory i defekty części pomiarowej stanowiska i metod wyznaczania prędkości zastosowanych w tym przypadku, należy według mnie wydać pozytywną ocenę, biorąc pod uwagę stopień trudności tego zagadnienia oraz fakt, że jest to ważny ale nie główny i najważniejszy wątek tej pracy. Autor zresztą dość realistycznie ocenia swoje osiągnięcia w tym zakresie. W związku z układem pomiarowym prędkości i wykonanymi barierami

optycznymi nasuwa się pytanie jak praktycznie były sterowane oba segmenty elektromagnetyczne wyrzutni. Czy była to metoda oparta na wykorzystaniu sygnałów z barier optycznych i doświadczalnym określaniu chwil włączania baterii kondensatorów?.

Oceniając rozprawę ogólnie, podkreślam zastosowanie nowoczesnych metod modelowania matematycznego i obliczeniowych do określania parametrów konstrukcyjnych wyrzutni hybrydowej o trzech stopniach napędowych. Opracowanie metodologii projektowania takiej wyrzutni i ujęcie jej w przejrzyste procedury, a także rozwiązanie szeregu praktycznych zagadnień konstrukcyjnych uważam za oryginalne osiągnięcie autora na poziomie stawianym rozprawom doktorskim. Przygotowanie tej pracy stawiało bardzo różnorodne wymagania, w tym metrologiczne, i wymagało od autora dużej wszechstronności i dobrego przygotowania w kilku dyscyplinach nauk technicznych. Jako pewien zarzut odnoszący się do prowadzonych badań i do pracy na poziomie ogólnym uważam brak rozważań strategicznych dotyczących budowy wyrzutni. Takie rozważania powinny odpowiadać na dość ogólne pytania, na przykład: czy rzeczywiście są potrzebne trzy stopnie, czy nie efektywniejsza była by wyrzutnia dwustopniowa. Jeżeli przyjąć korzystanie ze wstępnego stopnia, mechanicznego, czy drugi stopień elektromagnetyczny powinien być typu cewkowego, a więc z oddziaływaniem na ferromagnetyk czy też typu szynowego ?. Który z modułów elektromagnetycznych jest lepszy i pod jakim względem?.

Podsumowując tą ocenę stwierdzam, że pracę uważam za bardzo dobrą a temat wymagający, pożyteczny i mający istotne walory naukowe i kształceniowe, spełniające wymagania stawiane rozprawom doktorskim z dziedziny nauk technicznych. Autor rozprawy mgr inż. **Roman Krocze**k wykonując badania służące przygotowaniu tej pracy i redagując ją w przedstawionej obszernej formie wykazał się oryginalnością myślenia, wszechstronnym przygotowaniem i dojrzałością w sensie naukowym, czyli kwalifikacjami wymaganymi do uzyskania stopnia naukowego doktora. W mojej ocenie przedstawiona praca spełnia ustawowe wymagania dotyczące rozpraw doktorskich, w związku z czym wnioskuję o dopuszczenie jej autora do publicznej obrony rozprawy.



P. Wach (-)

P. Wach